E/CONF.39/A/20
26 Sept.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.1

France

ETABLISSEMENT DES CARTES TOPOGRAPHIQUES A PETITE ET MOYENNE ECHELLE PAR LES METHODES MODERNES

Par Ingénieur en Chef Géographe BONNEVAL,
de l'Institut Géographique National,
136bis, rue de Grenelle, Paris 7e

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

Point A1

ETABLISSEMENT DES CARTES TOPOGRAPHIQUES A PETITE ET MOYENNE ECHELLE PAR LES METHODES MODERNES

Ingénieur en Chef Géographe BONNEVAL
de l'Institut Géographique National, 136bis rue de Grenelle, PARIS 7e

a - Problèmes cartographiques généraux

a1 - Cartes de base et cartes dérivées.- Dans la gamme des cartes topographiques couvrant tout le territoire d'un pays, on distingue la carte de base, qui seule donne lieu à des opérations de levé et les cartes dérivées, en général à plus petite échelle, obtenues par réduction et généralisation de la carte de base. Le présent exposé traite exclusivement de la carte de base, dont l'échelle sera en général comprise entre 1/50 000 et 1/200 000, suivant la densité de la population et le degré de développement.

a2 - Cartes régulières et cartes expédiées.- Les cartes dites régulières sont établies avec toute la précision que les techniques permettent d'atteindre. Cette précision est caractérisée par une erreur moyenne de $0^{mm}2$ en planimétrie, d'une fraction assez petite (1/4 à 1/5) de l'équidistance adoptée pour les cartes en altimétrie. Devant les dépenses et les délais d'établissement de la carte régulière, on tend souvent par raison d'urgence à les remplacer par des cartes, plus vite levées, mais où les tolérances sont beaucoup plus larges. De tels levés dits "expédiés" devront être recommencés tôt ou tard, et constituent donc un gaspillage d'argent et de moyens; nous traiterons dans ce qui suit des cartes régulières.

a3 - Système de projection et découpage.- Les systèmes de projection actuellement utilisés pour les cartes topographiques sont conformes. Le système de projection UTM. (Universal Transverse Mercator) est préconisé par l'Association internationale de Géodésie. Le découpage international, par degrés et fractions de degrés, est également à recommander.

b - La Photogrammétrie aérienne.- La Photogrammétrie aérienne a maintenant supplanté toutes les méthodes plus anciennes. Ses avantages sont considérables, en ce qui concerne la qualité de la carte, son prix de revient, la réduction des travaux de terrain, le rendement. Par contre, les techniques mises en oeuvre sont plus complètes et exigent une plus grande spécialisation du personnel.

b1 - Les opérations successives s'échelonnent au total sur une durée plus longue; ces opérations successives sont : la couverture photographique aérienne, la détermination du canevas de base, la détermination du canevas de restitution, la restitution des photographies, le complétement de la minute sur le terrain, la rédaction cartographique et l'impression de la carte.

c - La couverture photographique

c1 - Chambres métriques de prise de vues.- Les exigences très sévères auxquelles doivent répondre les clichés pour une exploitation précise ne peuvent être satisfaites que par l'emploi de chambres métriques, parfaitement étalonnées. Ces chambres peuvent être équipées de magasins à grande capacité soit à plaques soit à films. Les plaques doivent être préférées, en particulier lorsqu'on utilise les clichés pour l'Aérotriangulation spatiale (d3a). Les progrès de l'optique ont permis de réaliser

des chambres grand-angulaires (90° et même plus), qui ont eu des résultats appréciables au point de vue économique : à altitude de vol égale, la surface couverte par chaque cliché augmente.

c2 - Navigation photographique.- Les couvertures photographiques ne sont exploitables dans de bonnes conditions pour le levé que si la navigation est parfaitement régulière, en ce qui concerne les recouvrements, dans une même bande et entre bandes, et si la verticalité des axes de prise de vues est assurée à quelques degrés près. L'opération la plus difficile consiste à assurer le recouvrement voulu entre bandes, ce qui peut être obtenu au moyen de procédés basés sur le radar. A l'Institut Géographique National IGN, les points à survoler lors de la future bande sont repérés au moyen de viseurs très simples. Ce procédé exige des navigateurs très entraînés et très habiles.

c3 - Echelle de la couverture.- Il est économique que la couverture soit à l'échelle la plus petite possible compatible avec la précision de la carte, la perception des petits détails et le plafond pratique de l'avion-photographe. Si ce dernier facteur ne l'interdit pas, les échelles les plus favorables pour des cartes au 1/100 000 ou au 1/200 000 sont 1/60 000 en région fertile et habitée, 1/100 000 en région aride ou désertique.

c4 - Avions et équipages spécialisés.- Les avions-photographes doivent pouvoir exploiter à plein les journées de ciel clair, très rares d'ailleurs dans certaines régions du globe. Les aérodromes utilisables peuvent être peu nombreux et très distants les uns des autres. Les avions doivent avoir par conséquent une grande autonomie de vol, un plafond élevé. Ils doivent être choisis en conséquence, et montés par des équipages spécialisés très entraînés.

c5 - Les photographies aériennes constituent, en l'absence de cartes, et même quand celles-ci existent, des documents précieux. Elles sont plus riches en détails de toutes sortes que la carte : par la photo-interprétation, de nombreux spécialistes peuvent s'y livrer à des études poussées. L'examen stéréoscopique est d'importance capitale dans ce genre d'études. Les mosaïques obtenues par simple assemblage d'épreuves n'ont en général qu'une valeur métrique très limitée, en raison des déformations perspectives de la photographie.

d- La détermination du canevas.- Un canevas d'appui est nécessaire pour servir d'ossature à la carte, quelle que soit la méthode utilisée. Dans le cas du levé photoaérien, les positions et les orientations des clichés ne sont connues qu'approximativement et doivent être reconstituées après coup, en utilisant obligatoirement pour chaque couple de clichés un certain nombre de points (4 à 6) connus par leurs coordonnées. C'est le canevas de restitution, mais pour les cartes à petite ou moyenne échelle, il existe des procédés permettant d'obtenir ce canevas en grande partie soit par des opérations de bureau, soit par des opérations aériennes. Néanmoins, un canevas de base restreint et très peu dense, reste nécessaire, qui ne peut être obtenu que par des mesures au sol.

d1 - Détermination du canevas de base

d1a- Canevas planimétrique.- Il peut être obtenu soit par triangulation, soit par déterminations astronomiques.

d1a1 - La triangulation (ou la trilatération, à l'aide des appareils modernes de mesure radio-électrique des distances) donne une excellente précision, surabondante pour une carte à petite échelle. Mais la méthode exige des dépenses et des délais considérables.

d1a2 - Le canevas astronomique est plus facile et plus rapide à réaliser. Chaque point est déterminé indépendamment, et peut être placé sur le terrain arbitrairement, en un endroit d'accès facile. Le point est calculable immédiatement, sans aucune compensation d'ensemble. Mais l'homogénéité est beaucoup moins bonne qu'en géodésie. Outre l'erreur intrinsèque de détermination (30 m.environ), le point astronomique est généralement entaché d'une erreur due à la déviation de la verticale (angle entre la verticale physique et la normale à l'ellipsoïde de référence), si bien que sa position ne peut être garantie qu'à une centaine de mètres près. Pour des cartes aux échelles du 1/100 000 et du 1/200 000, une densité correspondant à des distances de 50 à 100 kilomètres entre points voisins suffit pour appuyer la détermination du canevas de restitution.

d1b - Le canevas altimétrique de base est constitué obligatoirement par des traverses de nivellement géométrique de précision, matérialisé sur le terrain par des repères de nivellement. La densité de ce canevas primordial variera suivant l'échelle de la carte, et la nature de la région. Il sera complété par un canevas secondaire obtenu par l'un des procédés ci-dessous.

d1b1 - Pour un réseau géodésique, les points géodésiques, déterminés en altitude par nivellement géodésique, constitueront le réseau secondaire.

d1b2 - Pour un canevas astronomique, on aura recours au nivellement barométrique, en utilisant de préférence la méthode du cheminement à 2 baromètres (erreur moyenne : de 2 à 5 m.).

d1b3 - On peut utiliser les indications d'un enregistreur de profils aéroporté, qui trace de façon continue le profil du sol sur les itinéraires survolés. Moyennant certaines corrections et compensations très rapides, on obtient un grand nombre de cotes sur les profils avec une erreur moyenne de 2 à 3 m. Mais cette précision n'est obtenue qu'en terrain découvert et peu accidenté. En terrain montagneux ou couvert de végétation, les indications de l'appareil sont très perturbées.

d2 - Détermination du canevas de restitution

d2a - L'Aérocheminement.- Dans la plupart des cas, le canevas de restitution est obtenu en s'appuyant sur le canevas de base, au moyen des procédés dits d'Aérotriangulation spatiale ou d'aérocheminement. On assure au moyen d'appareils appropriés (restituteurs ou stéréocomparateurs) l'enchaînement des faisceaux perspectifs matérialisés par les clichés le long d'une bande, puis entre les bandes, et on obtient après compensation les coordonnées X Y Z des points nécessaires à la restitution.

d2a1 - Le principe de l'opération est simple; la difficulté réside dans l'élimination des erreurs systématiques, et dans la compensation qui doit souvent faire intervenir les données d'appareils enregistreurs de bord (statoscope, indicateur de niveau, radio-altimètre, etc...) qui améliorent la précision finale.

d2a2 - Jusqu'à ces dernières années, on utilisait des moyens simples, graphiques et mécaniques, qui donnaient une solution suffisamment approchée. Le problème peut être résolu maintenant de façon plus rigoureuse grâce aux grandes calculatrices électroniques modernes. Les appareils servant aux mesures préliminaires sur les clichés(appareils restituteurs ou stéréocomparateurs) sont équipés d'enregistreurs automatiques de coordonnées qui suppriment toute erreur de transcription.

d2a3 - La nouvelle méthode n'est pas plus économique, mais elle est plus rapide et exige moins de personnel.

d2a4 - La précision dépend évidemment de l'échelle des clichés, de la précision, de la densité et de la répartition du canevas de base. Avec un canevas astronomique, la précision locale reste excellente, les erreurs absolues étant du même ordre que celles du canevas. Il en est de même des altitudes, dont la précision reste comparable à celle du canevas barométrique.

d2b - Triangulation à fentes radiales.- La triangulation photographique par plaques à fentes radiales (TPFR) ne donne que les coordonnées X Y des points du canevas. La méthode est simple, et bien qu'elle suppose que les axes de prise de vues sont rigoureusement verticaux, elle donne une précision suffisante pour des cartes à petite échelle, en terrain pas très montagneux, à condition que l'inclinaison de ces axes par rapport à la verticale n'excède pas 3°. La TPFR reste très intéressante combinée avec une détermination radiométrique des altitudes.

d2c - Détermination radiométrique des altitudes.- On utilise l'enregistreur de profils aéroporté (APR) (voir d1b3). Au cours d'un deuxième vol, on enregistre les profils du sol sur des itinéraires contenus dans les zones de recouvrement latéral entre bandes de clichés, ainsi que sur d'autres itinéraires, plus espacés, normaux à la direction de ces bandes. En partant d'un très petit nombre de points d'altitude connue, déterminés au sol par rattachement à des repères de nivellement, et après une compensation simple, on obtient les altitudes absolues d'autant de points qu'on le désire, qui serviront à l'orientation absolue des modèles plastiques sur les appareils de restitution. La méthode a été utilisée avec un plein succès par l'IGN ces dernières années pour la carte au 1/200 000 du Sahara, en combinaison avec la TPFR (programmes annuels : 200.000 à 250.000 Km2). On évite ainsi tout le processus d'aérotriangulation. Les altitudes sont obtenues avec une erreur moyenne de 2 à 3 m.

e - La restitution

e1 - Nous signalerons au passage sans y insister l'intérêt en terrain plat des photoplans obtenus par assemblage de photographies redressées, qui fournissent une image géométrique correcte de la planimétrie, et peuvent servir de fond topographique pour un levé sur le terrain des courbes de niveau.

e2 - La restitution stéréoscopique

é2a - Elle constitue la seule solution générale du levé complet de tous les éléments de la carte à partir des photographies aériennes. Elle consiste, le couple de clichés ayant été mis à l'échelle et orienté sur les points du canevas, à tracer les détails planimétriques et les courbes de niveau en utilisant le contact stéréoscopique entre le terrain vu en relief et une mire aérienne mobile à volonté suivant les 3 axes de coordonnées.

e2b - Il existe une assez grande variété d'appareils restituteurs stéréoscopiques, classés en différents ordres suivant leur précision. Les appareils de premier ordre permettent d'atteindre une précision altimétrique(1) de la carte comprise entre 1/6 000 et 1/8 000 de la hauteur de vol, celle-ci étant évidemment fonction de l'échelle des clichés, donc de celle de la carte. Dans le cas des cartes à petite échelle, le canevas étant obtenu par les méthodes décrites plus haut, on peut se contenter d'appareils de 2ème ordre dont le prix d'achat est bien moindre. Compte tenu de l'erreur intrinsèque du canevas d'appui, l'erreur moyenne finale en altimétrie de la carte est alors comprise entre 1/1 000 et 1/2 000 de la hauteur de vol.

e2c - L'emploi des chambres super grand-angulaires (champs de 110°) est avantageux parce que le nombre des clichés pour une surface donnée est diminué pour une même hauteur de vol (échelle plus petite). Il est possible de restituer de tels clichés en utilisant des appareils conçus pour un angle de champ de 90°, en transformant les faisceaux perspectifs par anamorphose. La solution n'est qu'approchée, elle est suffisante pour des inclinaisons sur la verticale n'excédant pas 3 ou 4° et des terrains pas trop accidentés.

e2d - Il existe des appareils, dits simplifiés, dont le principe repose sur certaines approximations, ou certaines hypothèses non réalisées dans la pratique. La construction est alors très simplifiée et le prix très réduit. Mais ces appareils présentent de graves inconvénients : - qualité du levé incertaine et variable - emploi moins commode - efficacité moindre. Ils exigent en général des opérateurs plus entraînés, et parfois un canevas d'appui de densité plus grande. Même, dans le cas des petites échelles, ils conviennent mieux pour des levés expédiés que pour des levés réguliers.

e3 - La stéréominute. Le document fourni par la restitution, la stéréominute constitue, après dessin en couleurs en signes conventionnels, une carte provisoire muette, mais qui peut être diffusée sous forme de reproductions monochromes. Le support de la stéréominute est constitué maintenant par une feuille de matière plastique, d'excellente stabilité dimensionnelle. Dans les régions accidentées, on peut dissocier planimétrie et courbes, en traçant ces dernières avec une pointe d'acier sur une couche à tracer (plastique recouvert d'une couche opaque). La planche de courbes gravée servira directement pour l'édition (voir g1), et on peut en outre obtenir facilement des reproductions bicolores de la stéréominute.

f - Le complétement

f1a - La stéréominute est un document incomplet sur lequel manquent certains détails non vus sur les photographies, les limites administratives, la toponymie. En outre certains détails ont pu être mal interprétés à la restitution. Il faut remédier aux imperfections et aux lacunes de la stéréominute par des opérations de terrain, appelées "complétement". Ces opérations, pour être efficaces, doivent être exécutées par des topographes très confirmés. Le plus grand soin doit être apporté à la toponymie, pour laquelle le choix des graphies définitives doit être laissé à des spécialistes de la phonétique et de la linguistique.

(1) La précision altimétrique est la plus difficile à respecter en photogrammétrie aérienne; la précision planimétrique est caractérisée en général par l'erreur graphique (0,2 mm.).

f1b - Par un souci d'économie, pour éviter le double parcours du terrain avant et après la restitution, on utilise parfois le <u>précomplétement</u> : les opérateurs chargés de la détermination du canevas au sol ont alors la mission supplémentaire de recueillir et reporter sur les photographies des renseignements permettant d'apporter au bureau, après la restitution, toutes les corrections et additions qui sont normalement du ressort du complétement. Cette méthode, à la rigueur acceptable en région désertique, est peu efficace en région habitée. Le complétement après restitution doit lui être préféré, si l'on désire une carte complète et fidèle.

g - <u>L'édition cartographique</u>.- Pour des raisons de lisibilité, les cartes sont très généralement polychromes. Elles comportent d'ordinaire trois couleurs fondamentales : noir, bleu, bistre, auxquelles s'ajoutent souvent des couleurs auxiliaires : vert, rouge, estompage en noir sur une planche spéciale.

g1 - <u>Dessin cartographique</u>.- Il a pour but d'obtenir autant de planches par couleurs séparées qu'il doit y avoir de passages en machine pour l'impression de la carte. La stéréominute est reproduite en couleur pâle en autant d'exemplaires qu'il est nécessaire, soit sur papier spécial, soit sur support transparent (astrafoil, astralon), soit sur couche à tracer recouverte d'un enduit opaque. Le dessinateur cartographe dessine sur le fond correspondant, ou grave sur ce même fond, dans le troisième cas, au moyen d'outils spéciaux, tous les détails correspondant à l'une des couleurs. Il établit séparément, sur support transparent, les planches auxiliaires de végétation, de noms et de cotes.

g2 - <u>Reproductions et photo-métallographie</u>.- Les différentes planches sont reproduites par tirage-contact sur plastique (film polyester) recouvert de gélatino-bromure. Des tirages combinés sont nécessaires pour obtenir la planche unique portant la planimétrie, les noms et les cotes. La planche d'estompage est l'objet d'une reproduction tramée. Les films correspondants aux différentes planches sont alors reproduits sur métal, zinc, ou aluminium, ou plus récemment planches bi-métalliques donnant une meilleure finesse.

g3 - <u>Impression en offset</u>.- Après un premier tirage d'essai en offset sur presses à contre-épreuves, on fait éventuellement les corrections nécessaires, avant de procéder au tirage sur machines rotatives au nombre d'exemplaires désiré (5000 par exemple). L'impression se fait successivement pour chacune des planches, d'où l'intérêt de machines multicolore, imprimant plusieurs planches d'un seul coup.

h - <u>Conclusion</u>

h1 - Les méthodes faisant l'objet de cet exposé sont des méthodes pratiques, élaborées et mises au point par l'IGN., et appliquées systématiquement et effectivement à des programmes de levé, qui ont couvert annuellement, au cours des dernières années, de 300.000 à 350.000 Km2, aux échelles du 1/50 000, du 1/100 000 et du 1/200 000, avec des proportions variables suivant les années pour les différentes échelles.

h2 - Les conclusions de cet exposé apparaissent d'elles-mêmes.

h2a - Une carte moderne est l'aboutissement d'une véritable chaîne de production; les opérations successives de cette chaîne mettent en oeuvre des matériels particuliers et font appel à des techniques diverses qui exigent du personnel spécialisé, tant pour la manipulation des matériels que pour leur entretien.

h2b - L'établissement de la carte constitue un problème à la fois technique et économique; la solution adoptée doit concilier au mieux des exigences de précision de la carte avec un prix de revient minimum.

h3 - Un service cartographique moderne ne peut s'improviser : la formation du personnel est longue; l'acquisition et la mise en service du matériel ne peuvent se faire que progressivement.

h4 - Les programmes doivent être établis à l'avance, et l'on doit s'y tenir sous peine de perturber gravement la production de la carte. Sans une parfaite organisation à tous les stades de la production, celle-ci ne saurait avoir le caractère industrialisé qui, seul, permet de concilier les exigences de précision, de rendement et de prix de revient.

h5 - Un service cartographique nouvellement formé, ou voulant moderniser ses méthodes,

pourra trouver grand intérêt, au moins pendant les premières années, à confier l'exécution de certains travaux délicats, exigeant des matériels complexes, à des organismes existants, ayant acquis la pratique de ces travaux, c'est le cas par exemple pour les prises de vues aériennes, les travaux d'aérotriangulation analytique. Souvent un temps précieux pourra être ainsi gagné pour le démarrage de la chaîne de production de la carte et se trouveront réduits les délais d'exécution de cette oeuvre cartographique, dont l'urgence et l'importance pour la modernisation et le développement économique national d'un pays sont désormais universellement reconnues.

196 F - Oct. 1962 - 1,000

E/CONF.39/A/21

Readex
Fiche

E/CONF.39/A/21
27 Sept. 1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.1.2

France

PROBLEMES D'ORGANISATION EN MATIERE DE CARTOGRAPHIE

Par l'Inspecteur général Géographe DANIEL,
de l'Institut Géographique National IGN,
136bis, rue de Grenelle, Paris 7e

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

Point A - 1 - 2

PROBLEMES D'ORGANISATION EN MATIERE DE CARTOGRAPHIE

par l'Inspecteur Général Géographe DANIEL
de l'Institut Géographique National (IGN) 136bis rue de Grenelle, PARIS 7e

a - Problèmes cartographiques généraux

a1 - Le développement économique d'un pays ne saurait se concevoir désormais de façon rationnelle, s'il n'est appuyé sur une documentation cartographique appropriée. Les études et projets de tous genres, la planification régionale ou nationale exigent des cartes à échelle convenable couvrant tout le territoire.

a2 - D'autre part les différents aspects du développement économique, de l'inventaire des ressources, nécessitent des cartes spéciales dites thématiques; la carte topographique constitue la base à partir de laquelle ces cartes thématiques peuvent être obtenues économiquement par une simple surcharge.

a3 - Le problème essentiel est donc celui de l'établissement de la carte de base, exigeant seule des opérations de levé; les cartes dérivées, à échelle plus petite, s'en déduisent par photographie et dessin. Cette carte de base n'est d'ailleurs pas obligatoirement à échelle unique pour tout le territoire. Elle peut varier d'une région à l'autre suivant la nature du terrain, la densité de la population, l'intérêt économique. Le choix de l'échelle ou des échelles de cette carte est essentiel; il devra tendre à concilier au mieux la brièveté du délai d'exécution, et le prix de revient minimum avec les besoins réels des usagers. Pour un pays de grande étendue, le choix doit se porter sur des échelles comprises entre 1/50.000 et 1/200.000.

a4 - En même temps que la carte de base, devront être exécutés de façon urgente des plans ou cartes à grande ou très grande échelle, sur des surfaces restreintes en vue de projets particuliers : zones urbaines, irrigation, construction de barrages, ou de voies de communication. L'organisme cartographique devra pouvoir satisfaire ces besoins indépendamment de la carte de base et disposer par conséquent d'un potentiel de production supplémentaire.

a5 - Les facilités offertes par les photographies aériennes pour les études de tous genres basées sur la photo-interprétation, l'intérêt des "mosaïques" photographiques, rapides et peu onéreuses à établir, pour servir de fond topographique provisoire, au moins dans les régions peu accidentées, doivent inciter à réaliser, dans le plus bref délai possible, une couverture systématique de tout le territoire, à l'échelle qui aura été retenue en fonction de l'échelle de la carte de base. Mais d'autres couvertures, à plus grande échelle, pourront être nécessaires, soit pour les travaux spéciaux de levé (a4), soit pour certains aspects de la photo-interprétation : études forestières, pédologie. Les dépenses relativement élevées qu'imposeront toutes ces prises de vues seront loin d'être improductives, car elles permettront à leurs utilisateurs des gains de temps considérables.

b - Les méthodes photogrammétriques doivent être à la base de toute oeuvre cartographique nouvelle d'une certaine étendue. Ces méthodes ont connu au cours des vingt dernières années un développement considérable et pleinement justifié, car, seules, elles permettent le levé de surfaces importantes dans des délais raisonnables, en réduisant très fortement les travaux de terrain, toujours onéreux, et en assurant à la carte une homogénéité, une fidélité et une précision très supérieures à ce qu'il était possible d'atteindre auparavant. Pour ce qui concerne les méthodes et techniques à

mettre en oeuvre aux différentes étapes de fabrication de la carte, nous renvoyons à la communication de l'Ingénieur en chef Géographe Bonneval "Etablissement des cartes topographiques à petite et moyenne échelles par les méthodes modernes". Le présent exposé traitera plus particulièrement des questions d'organisation : programmes, problèmes de matériel et de personnel, etc...

c - Organisation générale des travaux

c1 - L'introduction des méthodes photogrammétriques a fortement contribué à donner à la production de la carte un caractère industrialisé. La carte est le produit final d'une véritable chaîne de production, dont les étapes successives se répartissent sur plusieurs années. Il est donc essentiel que les programmes soient conçus et arrêtés définitivement suivant une progression raisonnable, et qu'ils ne soient pas remis en cause au cours de leur exécution.

c2 - Pour un service cartographique nouveau ou un service voulant se moderniser, et soucieux d'aller vite, il sera judicieux de mener de front : une couverture photographique systématique de haute qualité, ainsi que des couvertures locales à plus grande échelle, et un équipement de terrain en points de canevas : en général, points astronomiques, repères de nivellement, altitudes barométriques ou par enregistrement aérien de profils. La triangulation géodésique sera limitée à des régions restreintes, exigeant des levés précis à grande échelle.

c3 - Sur ces données de base, on entreprendra et on mènera de front simultanément :

c3a - une carte générale à l'une des échelles 1/200.000, 1/100.000, 1/50.000 suivant les régions et d'après les méthodes exposées dans la communication déjà citée.

c3b - des cartes ou plans locaux, à des échelles comprises entre 1/1.000 et 1/20.000 pour des projets particuliers, ou des zones de grand intérêt économique.

c3c - toutes études concernant l'inventaire des ressources : géologie, hydrologie, études forestières, pédologie, en appliquant à la couverture générale ou aux couvertures spéciales les procédés de la photo-interprétation, ces études se faisant en général, indépendamment de l'organisme cartographique, dans les services spécialisés.

d - Organisation du service cartographique

d1 - Les besoins à satisfaire étant ainsi définis, ainsi que les méthodes à employer, il est possible de concevoir une organisation rationnelle du service cartographique officiel, qu'on peut résumer comme suit :

d1a - une division administrative et financière, chargée de l'administration, du personnel, de la gestion des crédits.

d1b - une formation aéronautique convenablement équipée pour les prises de vues, mais qui pourra être appelée à exécuter d'autres travaux aériens : enregistrement de profils, prospection aéroportée, etc...

d1c - une division des travaux de géodésie, d'astronomie et de nivellement.

d1d - une division chargée des travaux photogrammétriques et topographiques, ces derniers étant surtout des travaux de complétement, auxquels s'ajouteront, après un certain délai, ceux de la révision de la carte.

d1e - une division de cartographie, à qui incombent tous les travaux de dessin définitif de la carte, de reproduction et d'impression.

d1f - une division du matériel, subdivisée elle-même en plusieurs sections, et chargée de satisfaire aux besoins de tous genres des autres divisions, en ce qui concerne l'achat, la réception, l'étude des matériels nouveaux, l'entretien du matériel en service, la fourniture des matières premières, les essais de recette de certaines d'entre elles.

d1g - une école spécialisée pour la formation des personnels techniques : personnel de direction et d'encadrement et même certains personnels d'exécution. L'existence d'un tel centre de formation est justifiée par le fait que les sciences appliquées qui interviennent dans l'établissement de la carte ne sont pas en général traitées par l'enseignement officiel, sinon sous une forme trop théorique.

d2 - La mise sur pied d'un tel service géographique est une oeuvre de longue haleine; il faut constituer les ateliers, grouper les moyens nécessaires tant aux travaux de bureau qu'aux travaux de terrain, instruire les personnels techniques d'enca-

drement et d'exécution. Certains éléments de cette organisation ne pourront être en état de fonctionner qu'après plusieurs années. C'est le cas par exemple de la formation aéronautique, longue à constituer et à entraîner, des ateliers de restitution pour lesquels le personnel demande une formation de près d'un an, de l'atelier de calcul d'aérotriangulation analytique, la mise au point des programmes de calcul et de compensation pour des blocs d'une certaine importance exigeant des ingénieurs hautement spécialisés et un délai de un à deux ans. Or les besoins cartographiques seront urgents; la carte, une fois lancée, devra être produite rapidement. D'où l'intérêt évident que trouveront des services nouveaux ou nouvellement réorganisés à confier, au début du moins, tout ou partie de ces travaux délicats à des organismes étrangers ayant acquis en ce domaine une expérience suffisante. Ainsi pourront être menées de front l'organisation progressive du service et la satisfaction des besoins les plus urgents.

e - Les moyens nécessaires au bon fonctionnement d'un service géographique organisé sur les bases ci-dessus peuvent se subdiviser en : personnel, matériel, locaux, moyens financiers.

e1 - Le personnel doit comporter plusieurs catégories :
- des ingénieurs de conception et d'organisation des travaux, d'un haut niveau technique
- des ingénieurs de direction des travaux et d'encadrement du personnel d'exécution, d'un niveau technique inférieur
- des personnels d'exécution, en général très spécialisés, qu'on peut subdiviser à leur tour en personnel de terrain et personnel d'atelier, sans qu'il y ait d'ailleurs de cloison étanche entre ces deux catégories, en raison du caractère saisonnier des travaux de terrain sous la plupart des latitudes.

e1a - La formation de ces différents personnels sera surtout théorique, pour les ingénieurs du premier corps, à la fois théorique et pratique pour les ingénieurs du second corps et les personnels de terrain, surtout pratique pour le personnel exécutant des ateliers.

e1b - L'école d'application devra donc comporter différentes divisions correspondant aux différents niveaux, par exemple sur le modèle de l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques, qui fait partie intégrante de l'Institut Géographique National. La formation des cadres d'une telle école, qui ne se fera pas sans un délai assez long, peut avantageusement être aidée par un des centres existants de formation cartographique, parmi lesquels figure en bonne place l'école déjà citée.

e1c - De certains personnels d'exécution seront exigées des qualités très particulières. Les dessinateurs cartographes doivent fournir un dessin d'excellente facture, puisque vont en dépendre la clarté de la carte et son aspect plus ou moins agréable. Les restituteurs devront avoir une excellente acuité stéréoscopique pour conserver à la carte la précision altimétrique désirée. En moyenne, -10 à 15 % des individus présentent cette aptitude, dont on ne peut être assuré qu'après un essai probatoire de plusieurs mois.

e1d - L'Ecole ne pouvant pas disposer de tous les matériels aux seules fins de l'instruction, la formation pratique du personnel d'exécution se fera de préférence dans chacun des ateliers de production, le personnel nouveau s'intégrant progressivement parmi le personnel plus ancien.

e1e - Les spécialités des différents membres de l'équipage d'un avion photographe ne s'enseignent pas dans une école sous la forme désirable. Le pilotage, la navigation sur un avion de ligne ne sont pas de même nature que sur un avion photographe. Ces personnels devront être choisis parmi les spécialistes titulaires des brevets correspondants dans l'aviation commerciale ou militaire, mais n'acquerront la maîtrise nécessaire que par un entraînement suffisant à leurs nouvelles tâches.

e2 - Matériel.- L'établissement d'une carte par les procédés modernes fait intervenir des matériels complexes et variés, allant des avions aux presses rotatives, en passant par les appareils de restitution, les stéréocomparateurs et les calculatrices électroniques à très grande capacité, le prix de ces dernières ne permettant d'ailleurs que d'en envisager la location et non l'achat.

e2a - La recherche d'une production de la carte sur un mode industrialisé introduit

les impératifs habituels de l'industrie :

e2a1 - maintien du matériel en excellent état de fonctionnement, afin de réduire au maximum les temps morts dus aux pannes et incidents fortuits. Certaines pannes se produisant par exemple sur un des matériels embarqués sur l'avion-photographe entraînent ipso facto des dépenses importantes, qui restent improductives.

e2a2 - nécessité pour certains matériels de constituer des lots suffisants de pièces de rechange, ou de disposer de matériels de rechange complets : à bord de l'avion, pour tout le matériel de prise de vues et les équipements accessoires; en terrain aride ou semi-désertique, pièces de rechange pour le matériel automobile, permettant un dépannage immédiat, etc...

e2a3 - un entretien régulier , comportant entretien journalier et révisions périodiques, réduit les pannes et prolonge la vie utile du matériel; il est donc doublement avantageux. Cet entretien, ainsi que le dépannage en cas d'incidents mineurs, est du ressort des ateliers utilisateurs, d'où la nécessité d'avoir, à côté du personnel d'exécution, dans certains ateliers au moins, des personnels spécialisés pour ces tâches. Les incidents plus graves pourront être soit du ressort de spécialistes attachés à la division du matériel (d1f), soit du constructeur lui-même, le recours à celui-ci devant toutefois rester tout à fait exceptionnel.

e2b - En dehors des matériels proprement dits, les différents travaux exigent des matières premières très variées : surfaces sensibles, produits photographiques, feuilles de plastique, papiers à cartes, etc... Il est important, pour la bonne marche des travaux, que ces matières premières satisfassent aux normes exigées. Les essais sur échantillons nécessaires pour ce contrôle seront en principe du ressort de la division du matériel, laquelle devra être dotée des ateliers spécialisés appropriés.

e2c - C'est à elle qu'incombera également la recette technique des matériels nouveaux, ainsi que les étalonnages périodiques exigés par certains matériels en service : chambres de prise de vues aériennes par exemple.

e3 - Les locaux

e3a - Les locaux doivent être aussi bien adaptés que possible à leur usage, ce qui doit faire préférer de façon générale la construction de bâtiments neufs à l'occupation de locaux existants. Certains locaux devront être climatisés pour une meilleure exécution de certains travaux : ateliers de restitution, laboratoires de copie, ateliers d'impression, etc...

e3b - La plus grande attention doit être apportée aux problèmes de stockage, non seulement des matières premières, mais surtout des produits des différents stades de la chaîne : clichés aériens, stéréominutes, planches de tirages, lots de cartes imprimées en attendant la vente. Il s'agit de documents encombrants qui, pour la plupart, doivent être conservés en archives pour une durée indéfinie, et dont le volume va évidemment en augmentant à mesure que les années passent. Les locaux destinés au stockage constituent une fraction relativement importante de l'ensemble des locaux; certains devront être climatisés pour une meilleure conservation des documents : clichés, planches de tirage sur plastique, etc...

e4 - Les moyens financiers.- La création d'un service nouveau ou la modernisation d'un service existant implique des achats de matériels d'un prix souvent élevé et dont la livraison peut demander des délais assez longs. Mais ces dépenses importantes sont faites une fois pour toutes et ne seront à renouveler qu'à long intervalle. Elles devront être couvertes par des "crédits d'équipement", reportables, c'est-à-dire pour lesquels aucune date limite d'emploi n'est imposée, contrairement aux crédits de fonctionnement, qui resteront sensiblement constants d'un exercice budgétaire sur l'autre, du moins pour un effectif de personnel et un volume de travaux déterminé.

f - Equilibre entre les ateliers producteurs.- L'importance de l'ensemble du service et de ses moyens est à fixer en fonction des crédits et de la cadence de production imposée pour la carte. Mais l'importance relative de ses subdivisions doit réaliser un équilibre en personnel et en matériel qui dépend des rendements des différentes opérations élémentaires. Nous indiquerons ci-dessous quelques chiffres concernant ces rendements.

f1 - Un avion-photographe bien équipé peut prendre en une journée de beau temps 500 clichés environ. La surface couverte, dans les conditions habituelles de recouvre-

ment, sera suivant le format des clichés : de 3500 à 5000 km2 au 1/25.000, de 14.000 à 20.000 Km2 au 1/50.000, de 56.000 à 80.000 km2 au 1/100.000. L'échelle adoptée pour les clichés dépendra de l'échelle de la carte et de la précision imposée; son choix a une importance extrême, car il influe considérablement sur le montant des dépenses. On peut citer à titre indicatif les échelles optimum suivantes : 1/25.000 à 1/30.000 pour la carte au 1/20.000, 1/55.000 à 1/65.000 pour la carte au 1/50.000, 1/70.000 à 1/80.000 pour le 1/100.000, 1/80.000 à 1/100.000 pour le 1/200.000.

f2 - Un opérateur d'astronomie peut déterminer en un mois de 6 à 10 points suivant les difficultés de parcours, la distance entre les points étant comprise en 50 et 80 km. Un opérateur de nivellement fera par mois de 70 à 90 km. d'itinéraires nivelés.

f3 - Pour les échelles de clichés indiquées plus haut, pour les différentes échelles de carte, le rendement moyen horaire de la restitution sera compris entre 15 et 30 ha. au 1/20.000, entre 50 et 150 ha. au 1/50.000, entre 3 et 6 km2 au 1/100.000, entre 7 et 10 km2 au 1/200.000.

f4 - En ce qui concerne l'Aérotriangulation, les temps de passage d'un couple sur l'appareil de mesure des coordonnées sont environ de 0^h45 sur un stéréocomparateur, de 1^h15 sur un appareil de restitution, dans les deux cas avec enregistrement automatique des coordonnées.

g - Conclusion.- L'établissement de la carte topographique d'une grande surface a pris, de plus en plus, avec les méthodes modernes, un caractère industrialisé.Ainsi le choix des paramètres est-il un problème à la fois technique et économique, la solution adoptée devant concilier au mieux les conditions contradictoires de précision, de prix de revient minimum et de rapidité d'exécution. L'organisation du service cartographique chargé de cette oeuvre doit, dans la mesure du possible, obéir aux règles de l'industrie en recherchant à tous les stades : le meilleur entretien du matériel, l'élimination des temps morts nuisibles au rendement, la spécialisation du personnel, un équilibre judicieux entre les ateliers producteurs, l'étude des méthodes et matériels nouveaux permettant de faire progresser les techniques. C'est en cherchant à satisfaire au mieux à ces conditions que la production cartographique répondra aux critères de qualité, de régularité et de rendement qui sont ceux de toute production industrielle bien organisée.

194 F - Oct. 1962 - 1,000